"LA CIENCIA DE LOS INGENIEROS..." EN LA PRIMERA MITAD DEL SIGLO XVIII

("THE ENGINEERS SCIENCE ..." IN THE FIRST HALF OF XVIII CENTURY)

Jorge Galindo Díaz, Dr. Arquitecto. Prof. del Dpto. de Proyectos de la Escuela de Arquitectura. Facultad de Artes Integradas. Univ. del Valle

COLOMBIA

Fecha de recepción: 7-1- 00

103-6

RESUMEN

En 1729 aparece publicado en París el que, para algunos autores[1], es el primer gran tratado de la ingeniería moderna: La Science des Ingénieurs ...[2], escrito por Bernard Forest de Belidor, francés de origen catalán y profesor de matemáticas en la Escuela de Artillería de La Fére, miembro de las sociedades científicas de Londres y Prusia y corresponsal de la Academia Real de Ciencias de París. Con este libro se presentaría un rotundo cambio de dirección en dos aspectos fundamentales de la cultura técnica de los ingenieros modernos: el dimensionamiento de la estructura a partir de procedimientos numéricos y la organización de los procesos de los trabajos de construcción.

En las páginas siguientes daré cuenta de los contenidos de este tratado consultado en su versión original y en su particular traducción castellana, no sin antes hablar del papel que cumplió en la disociación de dos profesiones que hasta entonces habrían de compartir actitudes y competencias: arquitectura e ingeniería, tal como se entendían desde los ya distantes años del Renacimiento cuando la durabilidad, la estabilidad y la solidez de un edificio, cualquiera que él fuera, estaban precedidas por una ejecución perfecta, por el uso de los materiales adecuados, y donde el dimensionado de las partes obedecía a un plan general de las proporciones del conjunto, ... de un buscado equilibrio de los elementos. Veremos cómo -con la ciencia de los ingenieros del siglo XVIII- todos estos principios deberán explicarse, entonces, atendiendo a razones de naturaleza algebraica, en el conocimiento de la mecánica y en la comprensión abstracta de los elementos estructurales.

Vale la pena señalar que este trabajo es parte de una investigación mucho más amplia sobre las transformaciones del conocimiento técnico en el campo de la ingeniería y la arquitectura entre los siglos XVI y XVIII, en Europa y en América, haciendo especial hincapié en el papel que juegan las escuelas y academias, a uno y otro lado del océano.

SUMMARY

In Paris was published, in 1729, signed by some different authors, a book known as the first great modern engineering treatise. "La Science des Ingénieurs...", signed by Bernard Forest de Belidor, a french man of catalan origin, mathematics teacher in La Fère Artillery School, member as well of the Scientific Societies of London and Prussia and a correspondent of the Paris Royal Accademy of Sciences. In this book we will appreciate a firm direction change in two fundamental aspects of the technical culture of actual engineers: the way to dimension structures, starting from the numerical procedures and the organization of the processes in construction works

In the following pages I want to introduce you into the contents of this treatise in its original version and in its castillan particular traslation. But, before this, I have also to explain the teatrise role in the disociation of two professions that, till this time, have share attitudes and competitivities: architecture and engineering, such as they were understood in the Renaissance distant years where the durability, stability and solidity of a building, watever it was, was preceded by a perfect execution, by the use of appropriated materials, and where the different parts were measured following a general plan of whole proportions and the search of balance elements. We will see how -based on the science of these XVIII century engineers- all those principles have to be explained through the nature of the algebraical reasons, the mechanical knowledge and the abstract understanding of the structural elements.

It is worthwhile to point out that this work is a part of a much more important investigation concerning the transformations of the technical knowledge concerning engineering and architecture between XVI and XVIII centuries, as well in Europe as in America, insisting on the role played by the academies and schools, in one or the other ocean side.

Informes de la Construcción, Vol. 52 nº 467, mayo/junio 2000

El tratado La Science des Ingénieurs ... sus contenidos

La obra consta de un total de dos volúmenes que contienen seis libros, cada uno de los cuales está enumerado individualmente, con una extensión total de 498 páginas; acompaña al texto un conjunto de 52 ilustraciones. El orden en que los libros se disponen dentro del tratado, guarda una clara intencionalidad[3]: primero se presentan teorías abstractas sobre problemas particulares, nacidas éstas del conocimiento de las leyes de la mecánica; luego se expone un conjunto de conocimientos teóricos y empíricos acerca de la materia y, finalmente, se trata de la manera de resolver tipológicamente una edificación y las estimaciones necesarias para su puesta en obra.

En la primera edición de 1729, los libros I, II, III y VI ocupan el primer volumen, en tanto que los libros IV y V ocupan el segundo. ¿Responde esto también a una intención? No lo sabemos, pero el carácter distinto que ambos volúmenes adoptan es evidente. En el primero, Belidor recoge los contenidos que él mismo considera más importantes para el ingeniero moderno y que conforman su contribución más original, tal como lo afirma en el prefacio del tratado; allí resume conocimientos abstractos (*teorías*), recomendaciones acerca de los materiales (*reglas*), y precisiones sobre la conducción de los trabajos que buscan regular la práctica constructiva (*instrucciones*).

El segundo volumen, con los libros III y IV, se ocupa fundamentalmente de asuntos relacionados con la respuesta tipológica de los edificios y su decoración; su intención aquí es la de establecer modelos visuales a través de plantas y secciones para ejemplificar la manera de responder a casos, como si se tratase de un catálogo de figuras de las que se puede echar mano cuando sea necesario.

Por todo esto, si ya en Belidor encontramos un cuerpo de conocimientos constructivos diferenciados por sus contenidos (que determinan en la fase de concepción arquitectónica las características de la parte material y que permiten que este edificio se convierta en realidad física), también es posible percibir la estructura que lo convierte en un *sistema de acciones*: su tratado es producto de toda una reflexión precedente y de su confrontación con la práctica, alimentada y promovida por un afán que parte de la necesidad de asegurar en lo militar la defensa y consolidación de unos nuevos Estados europeos. Desde el discurso preliminar que antecede al primero de sus libros, Belidor expone su particular visión del conocimiento, tanto del que se adquiere a través del contacto con la experiencia como del que es producto de la especulación teórica y, explícitamente, del que hace uso del lenguaje matemático:

La Science des Ingénieurs. Anteportada de la edición de 1729.

Depuis qu'on a cherché dans les Mathématiques les moyens de perfectionner les Arts, on y a fait des progrès qu'on n'eût osé espérer auparavent ... l'opinion qu'il n'y a que la seule pratique qui peut les mener au but, est encore un obstacle qui n'est pas le moins difficile à vaincre, il est bien vrai que l'experience contribue beaucoup à donner des connaissances nouvelles, et qu'elle fournit tous les jours aux plus habiles gens des sujets de reflexion ...[4]

Belidor no cuestiona la contribución de la experiencia, pero piensa que los saberes que resultan de la práctica se transmiten de una generación a otra *con los mismos defectos*, permaneciendo así en un estado de imperfección, *tal como ocurre con la arquitectura*, a la que considera incapaz de resolver analíticamente problemas que requieren del conocimiento matemático:

Cela vient sans doute, de ce que la plûpart des hommes ne consultent point assés la raison; esclaves du préjugé, c'est presque toûjours l'usage qui les détermine, et pour ne parler que de l'Architecture .. aucun Architecte n'a donné des principes pour trouver le point d'équilibre entre les forces agissantes & celles qui doivent résister ... quelle épaisseur il faut donner aux revêtements des Terrasse ... aux piés-droits des Voûtes, aux Culées des Ponts ...[5]

Su crítica es contundente. Por encima de la conveniencia y el gusto, defiende al álgebra y a la mecánica como el lenguaje en el que se debe expresar el conocimiento del arquitecto. Tal es el propósito explícito de su libro: reconducir los métodos de los que él aprende, *sustituir la experiencia por un nuevo sistema teórico* como vía para alcanzar el verdadero conocimiento.

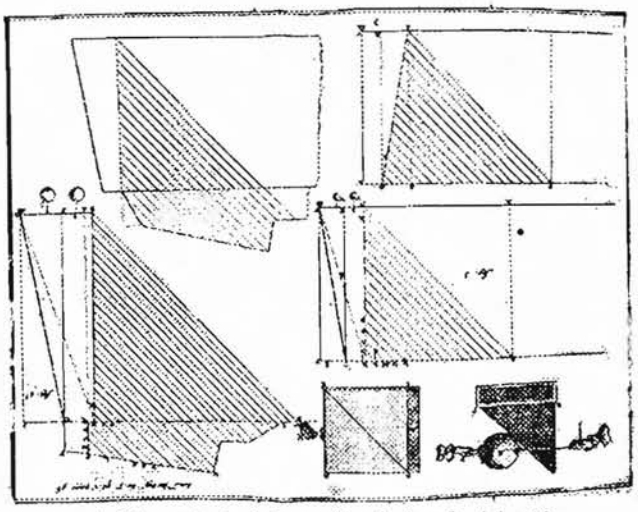
Ainsi pour commencer à suivre la méthode selon laquelle il m'a paru que l'Architecte devoit être traitée ... nous allons enseigner dans ce Livre ci, une nouvelle théorie pour régler l'éppaisseur des revêtements de maçonnerie ...[6]

En el primero de los casos que trata, la *Théorie de la Maçonnerie*, Belidor inicialmente hace un recuento de

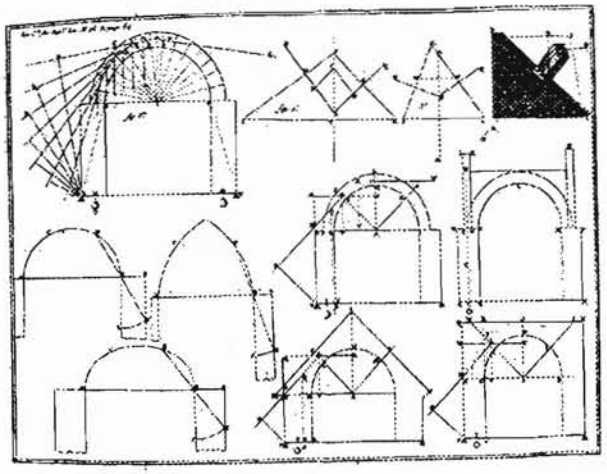
saberes previos que considera necesarios (y que él ya había tratado en su *Nouveau Cours de Mathématique*, París, 1725[7], y al que cita en numerosas ocasiones): la determinación del centro de gravedad de superficies planas. El paso inicial consiste en determinar el espesor de un muro sometido a un empuje, reduciendo tal situación al de una máquina simple: el plano inclinado. Pero antes de su demostración, el autor hace tres concesiones previas que constituyen una *modelización* del hecho estructural:

La première est que l'on doit regarder un Mur comme étant assis sur des fondemens inébranlables ... La seconde, est qu'on doit considerer un Mur comme composé d'une seule pierre ... La troisiéme, c'est qu'on peut regarder le profit d'un Mur comme exprimant le Mur même ...[8]

Su explicación se inicia con la situación más simple: un muro de caras paralelas sometido a una fuerza perpendicular en su plano vertical y que se hace cada vez más complejo: sus caras asumen inclinaciones de un lado y otro, variando para cada caso la ecuación inicial, donde *y* es el espesor del muro y bf es el valor de dicho empuje: $y = \sqrt{2bf}$. Una vez



La Science des Ingénieurs..., libro I, plano 2, página 46.



La Science des Ingénieurs..., libro II, plano 4, página 64.

obtenida esta expresión, él busca la manera de cuantificar el valor del empuje que hacen las tierras, es decir, el valor bf, para lo que se vale de dos principios: uno *sacado de la mecánica*; el otro, de *la experiencia*.

Respecto al primero, si existe un peso H en equilibrio sobre el plano inclinado AC es porque se produce un empuje K que sostiene este peso siguiendo una dirección EK paralela a la horizontal, de tal manera que K es al peso como la altura AB es a la base BC; y si el triángulo ABC es rectángulo en B, y AB=BC, el valor del empuje K será igual al del peso H. ¿Cómo determina Belidor que el triángulo ABC es rectángulo y que sus ángulos A y C son de 45° de inclinación? Por la experiencia:

C'est une chose démontrée par l'experience, que les Terres ordinaires, quand elles sont nouvellement remuées et mises les unes sur les autres sans être battues ni entre-lassées par aucun fascinage, prennent d'elles-mêmes une pente ou talud, qui fait avec l'horison un angle de 45 degrés ...[9]

Y aquí el problema se reduce de nuevo: basta con hallar el peso del volumen de la masa de tierra. Para un metro lineal de muro, el valor del empuje es igual a $\frac{\gamma}{2} h^2$ y que se reduce a la expresión $\frac{\gamma}{4} h^4$ también como fruto de su observación experimental, donde γ es el valor de la densidad del suelo[10]. El gran defecto de su teoría está no sólo en las consideraciones iniciales (el muro monolítico y el apoyo simple sobre el cimiento), sino en la deducción que hace de la práctica y que generaliza para todos los casos: el que el ángulo de inclinación sea de 45°.

En cuanto a su teoría de los arcos, Belidor reduce de nuevo el problema analítico al de una máquina simple, en este caso la palanca, cuyo punto de apoyo es P, el vértice exterior del pie derecho, y sobre quien actúa una fuerza en dirección LQ que trata de producir su vuelco, siendo L el centro de gravedad del semiarco. El desarrollo del problema se concentra en la determinación tanto del esfuerzo que intenta producir dicho vuelco, como en establecer la magnitud del brazo de palanca HN[11]. Retoma las formulaciones del físico y matemático Philipe De La Hire, variando el tipo de palanca que asume para su demostración. De nuevo, la descripción arquitectónica que hace Belidor se efectúa a través de una serie de problemas, de dificultades progresivas; su forma de razonamiento es moderna: más que sobre el álgebra, Belidor se apoya en la modelización de los hechos. Nos encontramos ante una manera abstracta de considerar los elementos estructurales, en donde el ejemplo aparece desprovisto de lo impredecible, de lo incierto: es así como el perfil del muro se expresa gráficamente a través

Informes de la Construcción, Vol. 52 nº 467, mayo/junio 2000

de una geometría perfecta, de líneas rectas y continuas, inmáculas, como si se tuviese un control riguroso de todas las dimensiones en aras de un ideal formal ... por ello es necesario también poner en cinturón aquello que no depende de quien proyecta y que se puede modificar o alterar cuando se lleva a la práctica. Hay que codificar el tratamiento de los materiales, su puesta en obra ... la práctica constructiva.

El libro III del tratado de Belidor guarda dos niveles de contenidos: de los capítulos 1 al 5, todas son explicaciones referentes *a las propiedades de los materiales*; los comprendidos entre el 6 y el 12, describen y pormenorizan sus *procesos de colocación*. En el primer grupo, aparecen, uno a uno, aquéllos que ya se consideraban como básicos: piedra, ladrillo, cal, arena, puzolana y yeso, terminando con los morteros; es decir, la adecuada mezcla que permite la unión entre ellos. A las piedras las clasifica según su dureza; explica, además, los procedimientos de extracción que se llevan a cabo en las canteras y su colocación en aparejos. Belidor no asume explicaciones estereotómicas y en algún pasaje se deja llevar por las creencias, aquéllas que, como él mismo había afirmado, *se transmiten de una generación a otra con los mismos defectos*:

Ce n'est pas seulement la gelée qui détruit la Pierre, on croît que la Lune l'altere, ce qui peut arriver pour les Pierres d'une certaine espèce, dont les rayons de la Lune peuvent dissoudre les parties les moins compactes: en ce cas on pourroit croire que ces rayons sont humides et que venant à s'introduire dans les pores de la Pierre ...[12]

A los ladrillos los considera como *piedras artificiales* que requieren de dimensiones precisas *para que sean cómodos durante la puesta en obra*, y a la cal como una piedra calcinada *que constituye el alma de la albañilería*. Trata de los tipos de arena, puzolana y yeso: la manera de reconocerlos, de identificar sus calidades y de hacer con ellos morteros usando las proporciones adecuadas. Es, a partir del sexto capítulo, donde el autor demuestra una mayor preocupación por aquello que él llama *los detalles de construcción de la albañilería*, es decir, el control de los procesos en busca de una disminución de los costos y de una mayor brevedad en los tiempos: reconoce la necesidad de saber de los materiales de la región donde se ha de edificar y de evaluar las dificultades de su transporte (para ello introduce una tabla con los pesos por unidad de volumen de varios: ladrillos, piedras, arena, etc.) y sugiere establecer patrones de referencia para medir el rendimiento de la mano de obra:

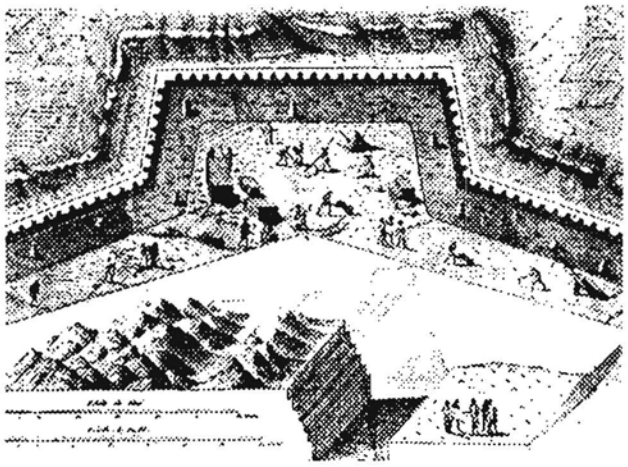
Le temps qu'on employe pour la construction de la Maçonnerie est encore une connaissance necessaire si l'on veut fe mettre en état d'executer les ouvrages dans le temps prescrit, & répondre aux intentions de la Cour: pour cela il faut savoir ce que chaque ouvrier peut faire par jour.[13]

El capítulo séptimo trata expresamente *de las instrucciones sobre la conducción de los trabajos*, donde el autor hace una transcripción de una pequeña obra de Vauban que lleva por título *Le Directeur General des Fortifications*. En sus páginas se da cuenta de las precauciones que el ingeniero había de tener hacia los asentistas, albañiles y operarios con el fin de mantener un adecuado control sobre los procesos; se exponen también las precauciones sobre el transporte de tierras y la manera de calcular los volúmenes removidos. Pero si las instrucciones, antes que una forma de conocimiento, son un conjunto de enunciados que indica qué reglas hay que seguir y en qué orden, y que se expresan en forma de mandatos, el *Devis*, que expone Belidor unas pocas páginas más adelante, es una clara muestra de ellas.

On peut donc dire qu'un Devis doit être regardé comme le chef-d'oeuvre de l'Ingénieur... Le Devis est un mémoire instructif de toutes les parties d'un ouvrage, qu'on veut construire; il explique l'ordre & la conduite du travail, les qualités & façons des matériaux, & géneralement tout ce qui rapport à la construction & à la perfection de l'ouvrage[14].

Las instrucciones en él contenidas deben estar *claramente enunciadas, bien detalladas y sin omitir nada esencial*; no debe dar lugar a equívocos y ha de referirse además a la planta y el perfil del proyecto (es decir al plano arquitectónico, que se entiende ahora no sólo como un instrumento de la acción sino como su guía: aparecen entonces en ellos alusiones a los detalles constructivos y a las especificaciones técnicas).

De lo general a lo particular, de lo conceptual a lo práctico, en el *Devis* -la más elaborada expresión de un proyecto técnico del siglo XVIII- se organizan todas aquellas



La Science des Ingénieurs..., libro III, plano 7 (el número de página es irreconocible en el ejemplar consultado.

actividades que buscan optimizar un mismo y deseado fin, permitiendo hacer una estimación detallada de los costes para cada uno de los procesos constructivos, desglosando las actividades y organizándolas en secuencias programadas. El *Devis* es previsión, anticipación, control matemático de la práctica constructiva que ordena y regula el saber hasta ahora depositado en los oficios ... es un modelo abstracto que pone a la práctica bajo el control de un modelo teórico.

Con los principios planteados por Belidor se ponen en su sitio las características del ingeniero moderno, formado en la prontitud, la solidez y la economía de los trabajos de construcción, impregnados todos de unos ideales positivistas de racionalidad que la sometían al concepto mismo de *progreso*. Si la eficiencia era -en la primera mitad del siglo XVIII- un factor decisivo en la evaluación de los procesos, en la organización de las fuerzas productivas y en la especialización en los trabajos, primados por la necesidad del rendimiento económico, su logro es ahora determinante en la función del profesional encargado de llevar a cabo los diferentes tipos de construcción, es él quien debe tomar a su cargo las tareas conducentes al cumplimiento de los ideales. Los arquitectos, incapaces de asimilar plenamente esta nueva racionalidad técnica, quedarán a partir de entonces marginados de una función de avanzada en el espectro de la sociedad, mientras los ingenieros se amparan en la legitimidad de las ciencias y su idealización.

La versión castellana del libro de Belidor

No se conoce todavía ninguna traducción completa al castellano del libro de Belidor, así que debemos pensar que su difusión en España y, consecuentemente, en América se produjo bien a través del texto original en francés, o gracias a traducciones parciales, como la que Rosario Camacho atribuye al arquitecto Antonio Ramos, encargado de la construcción de la catedral de Málaga[15].

En 1755 aparece en Inglaterra y escrito por John Muller (profesor de artillería y fortificación) el libro *Elements of Mathematics. For the use of the Royal Academy of Artillery at Woolwich*, texto en el cual se recogían los principales aspectos desarrollados por Belidor en *La Science des Ingénieurs* ... y que tenía el claro fin de servir de texto a sus alumnos en la Academia de Woolwich. Este libro tuvo también varias ediciones, y en la tercera, aparecida en 1765, el autor añade los *Elements of Perspectiva*, lo que hace que la obra quede con siete extensos volúmenes. En 1769, Miguel Sánchez Taramas, profesor entonces de la Real Academia de Matemáticas de Barcelona [16], traduce al castellano y bajo el título de *Tratado de fortificación* (Barcelona, 1769) los dos volúmenes que tratan el tema de los muros de contención y de los arcos, agregándole al texto original algunas notas, gráficos y adiciones que enriquecen el contenido y aseguran una rápida difusión entre el personal militar de toda España[17].

Si Muller es un autor especulativo, que fundamenta toda su teoría en una estricta base matemática y sin establecer normas empíricas, Sánchez Taramas agrega reflexiones sobre obras españolas antiguas y modernas. Esta versión castellana está dividida en dos tomos: el primero consta de tres partes que abarcan una extensión de 430 páginas donde la primera se divide en tres secciones que exponen respectivamente la teoría de los muros, la teoría de los arcos, y *la fuerza y qualidad de las maderas*. La segunda parte tiene seis secciones dedicadas al conocimiento de los materiales (piedras, ladrillos, cal, arena, terrazo, puzzolana, yeso, y modos de hacer morteros). La tercera parte se divide en 24 secciones y explica el modo de trazar una fortaleza sobre el terreno y la manera de realizar el cálculo de las obras.

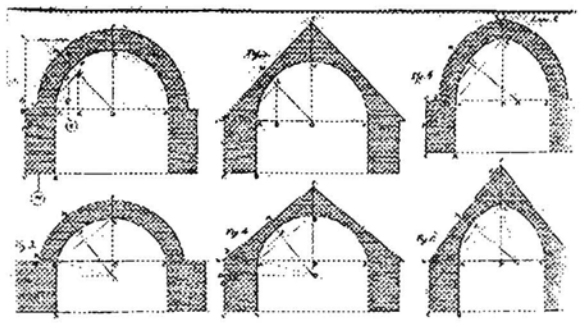
El Tomo II tiene 356 páginas. Corresponde a la cuarta parte del tratado que, en tres secciones y una adicional, explica los principios de arquitectura hidráulica. Sánchez Taramas lo que traduce finalmente es el libro de Belidor, siguiendo el orden de sus contenidos, pero suprimiendo la parte dedicada a la teoría de los órdenes y resumiendo considerablemente el último libro dedicado a los pliegos de condiciones y contratos entre ingenieros y asentistas.

En el prólogo, Taramas justifica la importancia de los temas a tratar, utilizando dos criterios que son, sin lugar a dudas, una herencia de Vauban: la solidez de las obras y la economía en los gastos, aspectos en los que insistirá constantemente a lo largo del libro.

La Arena, ocasiona mayor empujo, que la Tierra; y esta mayor que la Greda; luego el hacer los Muros de igual robustez en estos tres casos, seria exponerlos à que se arruinasen en el primero, y que en el tercero consumiesen demasiados materiales. Asimismo siendo la Piedra de mayor gravedad especifica, que el Ladrillo, es evidente, que los Muros de Piedra no necesitan tanto grueso, como los de ladrillo; no obstante, que los citados. Autores (que son Algunos miembros de la Academia de las Ciencias de París, y M. Belidor) no han hecho distinción de ellos en sus teorías. Página 2 del Prólogo.

Como en Belidor, la teoría de los muros que aquí se expone, parte de dos suposiciones previas: el comportamiento monolítico del muro, *como si constituyese una sola piedra* (aunque sí separado del cimiento), y el declive natural de los suelos, que es la pendiente que adoptan las tierras en reposo, considerándoles *sin variaciones en las de una misma especie*. Sin embargo, aquí el traductor busca hacer más sencilla la comprensión de sus planteamientos e incluye una tabla, *que contiene reglas generales para determinar las dimensiones de los muros de piedra, ò de ladrillo de qualquiera altura, con arreglo à los diferentes angulos*. Estas tablas, constituyeron finalmente la fuente más

Informes de la Construcción, Vol. 52 nº 467, mayo/junio 2000



Tratado de Fortificación..., de John Muller (en la versión castellana de Sánchez Taramas, Barcelona, 1769, lámina II).

inmediata para el ingeniero, acudiendo a ellas cada vez que se le planteaba la resolución de un problema de esta naturaleza. El autor cree conveniente *establecer una Theoria, que corresponda, y satisfaga à las varias circunstancias, que ocurran*. Su actitud indica claramente una intencionalidad por dar forma al conocimiento, por establecer en él categorías que permitan su aplicación y especialmente su transmisión.

Como en la obra original en francés, se plantean problemas en los que va aumentando progresivamente su nivel de complejidad; en el tema de los arcos parte de considerar a las dovelas como piezas asentadas, *siguiendo à Mr. Belidor, y unidas con mezcla de tal naturaleza, que impidiendo el que se resbalen unas sobre otras, no resulte el compuesto una sola Piedra*. El Problema I consiste en determinar la presión que ejerce el arco sobre los pilares que le sostienen, para lo cual se vale de la descomposición de fuerzas que hace una dovela MN, cuyo centro de gravedad es *x* y que ejerce un momento sobre el pilar ABCD.

En su demostración, la fuerza vertical *xa* de la dovela M, se elimina por la resistencia de la mezcla, considerando sólo la fuerza *xb*, cuya componente *db* es quien trata de producir un momento de vuelco en el pie derecho. Por lo tanto, el momento de presión del arco contra el pie derecho es igual al producto de la distancia CI multiplicada por la sumatoria de todos los pesos en dirección *db*. L es el centro de gravedad del semiarco AEFG y, finalmente, reduce el problema a la manera de encontrar tal punto. En los problemas siguientes, Taramas encuentra el espesor de los pies derechos en función del empuje calculado, y extiende su demostración a los arcos rebajados y ojivales. Pero sus demostraciones acerca de los arcos también adolecen de inexactitudes:

Cuando murió el gran matemático D. Jorge Juan Marino, se encontró en sus papeles, por medio de su secretario, lo equivocado que el célebre Juan Muller iba sobre los empujes de los arcos rebajados; y no lo quiso divulgar en su vida por no hacer quedar mal a Taramas, y por consiguiente a los individuos de la Academia de Barcelona, tan acreditados y sabios ...
Josep Renart i Closes[18].

Según amplía Montaner[19], Taramas había sido notificado del error, pero lo disimula ante el hecho de que la obra estaba en un avanzado estado de impresión, y el libro de Muller, *en conjunto, podía ser de gran utilidad para la instrucción de los jóvenes ingenieros*. ¿No queda aquí muy claramente comprobado que en el conocimiento técnico prima la utilidad sobre la veracidad?

Otra consideración interesante, que refleja la firme decisión de sistematizar y controlar los procesos constructivos, la encontramos en la explicación que hace el autor acerca de los ladrillos. A fuerza de tratar sobre sus tipos, formas y modos de fabricación, evidencia la necesidad de establecer dimensiones fijas, es decir, de producir piezas estandarizadas con el fin de poder cuantificar con mayor precisión el número de unidades que requería una construcción, así como para controlar los rendimientos de la mano de obra:

Un Oficial de Albañil con su Peón, puede fácilmente asentar 1000 ladrillos en un dia, quando el Muro tenga de espesor Ladrillo y medio ... Con esta experiencia, y sabiendo el Ladrillo que cabe en el cubo de una medida conocida, como la Vara, se puede regular el número de jornales, que se invertirán en una porción de Obra determinada, en qualquier tiempo. Págs. 159-160.

Esta preocupación por la precisión numérica y por las unidades de medida, va a estar también muy presente en otros profesores de la Real Academia de Matemáticas de Barcelona; ya en 1766 había aparecido impreso el libro de su director, Pedro de Lucuze, *Advertencias para la medida, y cálculo de los desmontes o excavaciones, en terrenos irregulares, con una regla para todos ellos* (Barcelona, Imprenta de Francisco Suriá, 1766). En este breve manual se explicaban las reglas útiles a seguir durante la realización de excavaciones, junto con una teoría acerca de los centros de gravedad y algunas observaciones prácticas *para evitar los errores y aproximarse a la verdad*. Más evidente resulta esta inquietud en el libro, también escrito por Lucuce, *Disertación sobre las Medidas Militares que contiene la razón de preferir el uso de las Nacionales al de las Forasteras* (Barcelona, Imprenta de Francisco Suriá, 1773), esfuerzo por crear un cuerpo doctrinal español en el terreno de la arquitectura militar y por establecer un sistema único de unidades de medida.

La tercera parte de esta versión contiene *el modo de trazar una fortaleza sobre el terreno, formar el cálculo y ejecutar las obras*. Es, sin duda, la unidad temática que mayor extensión alcanza (54% del total), donde se resumen buena parte de los conocimientos prácticos que un aprendiz de ingeniero militar había de conocer para asumir la dirección de una construcción. Si los capítulos precedentes abarcan todas aquellas consideraciones y cálculos necesarios en las labores de planeamiento y diseño -el conocimiento que permite concebir los edificios-, aquí se

nos muestra el repertorio de las tareas propias de quien ejecuta una obra -el conocimiento que permite hacer los edificios-.

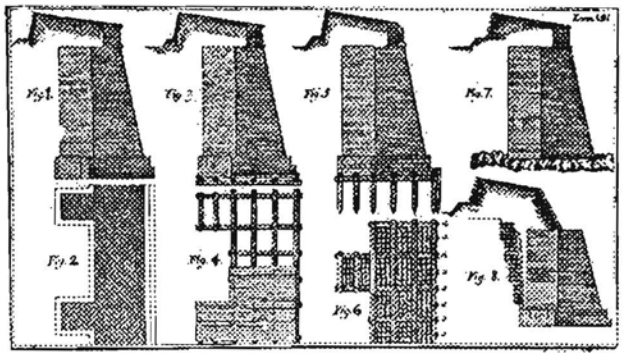
A lo largo del libro, Taramas insiste en que el costo es controlable a través del conocimiento de los materiales y de los procesos, amparados en una fase de planeamiento, apoyada, a su vez, en el cálculo numérico. Incluye explicaciones acerca de las técnicas de cimentación, de ejecución de presupuestos, de construcción de murallas ... es un *Metodo, que se ha de observar en la construcción*:

Habiendo explicado ya quanto conduce à la naturaleza, y qualidades de los Materiales que se emplean en la construccion, como tambien el modo de establecer los fundamentos de los edificios; nos resta tratar ahora de las Reglas que corresponden para aplicarlos ventajosamente en toda clase de Obra ... Pág. 280.

Su descripción es precisa, demostrando incluso una gran preocupación por el detalle; por ejemplo, cuando trata de los tipos de cimientos que se han de construir según el tipo de suelo, incluye aquél que se hace sobre tierras poco firmes, para lo cual es necesario hacer una plataforma de madera apoyada en pilotes. La viga de madera exterior de esta plataforma requiere de una muesca que le permita recibir las primeras hiladas de la fábrica del muro (*Figuras 3 y 5 de la Lámina VIII*).

Defiende también con vehemencia la importancia del conocimiento sistemático por parte de los ingenieros y arquitectos en contra del saber tradicional de los constructores:

Siempre debe reflexionar el Ingeniero el mejor metodo, que corresponda à la construccion de la Fabrica propuesta, sin sugetarse con nimiedad à las Reglas de los Obreros, los quales ordinariamente están preocupadosde su antigua practica, y no saben apartarse de èlla. Pág. 286.



Tratado de Fortificación..., de John Muller (en la versión castellana de Sánchez Taramas, Barcelona, 1769, lámina VIII).

Muller y Taramas, herederos de Belidor, contribuyeron pues a la difusión de una forma específica del pensamiento técnico, aquélla que hacía de la ciencia de la construcción, en toda su compleja dimensión, un asunto *más de fórmula que de forma*[20].

NOTAS

1. COLLINS, Peter: *Los ideales de la Arquitectura Moderna (1750-1950)*, Barcelona, Gustavo Gili, 1970, lo considera como *el primer tratado sistemático sobre la construcción de edificios, basado en métodos algebraicos*, GONZÁLEZ, José Luis: *El legado oculto de Vitruvio*, Madrid, Alianza Editorial, 1993, atenúa su importancia y la relativiza a los problemas específicos del dimensionado de muros de contención y de estribos de arcos y bóvedas, aunque también reconoce su trascendencia al plano de la arquitectura civil.

2. BIRAL, Alessandro y MORACHIELLO, Paolo, reseñan las subsiguientes ediciones, todas ellas en francés, excepto las dos últimas, en italiano y alemán respectivamente: La Haya, Henri Sceurleer, 1734; París, Ch. A. Jombert, 1739; La Haya, P. Gosse Jr., 1754 y 1775; París, Firmin Didot, 1813, ésta con notas de Navier; París, F. Didot, 1830; Milán, Perelli y Marini, 1840; Nuremberg, C. Weigel, 1857-58. En BIRAL, Alessandro y MORACHIELLO, Paolo: *Immagini dell'ingegnere tra quattro e settecento*, Milán, Ed. Franco Angeli, 1985.

3. El libro I está consagrado por entero a la manera de servirse de los principios de la mecánica para obtener las dimensiones convenientes a los revestimientos de las obras de fortificación, para estar en equilibrio con el empuje de las tierras que han de sostener. Dividido en seis capítulos, se vale de ejercicios, teoremas, lemas y corolarios para explicar el dimensionado de muros de contención: trata de la determinación del centro de gravedad de diversas figuras, el cálculo del espesor de muros y la magnitud de los empujes del terreno. El Libro II tiene cuatro capítulos, que tratan de la mecánica de las bóvedas, para mostrar la manera de determinar el espesor de los estribos. Como en el anterior, se organiza a partir de ejercicios, teoremas y corolarios. Una vez expuestos los métodos de resolución a tales problemas, los libros III y IV tratan aspectos relacionados con la construcción misma de los edificios: combina conceptos teóricos y empíricos. El libro III comprende el conocimiento de los materiales, sus propiedades, sus detalles y la puesta en obra; tiene 12 capítulos que constituyen una completa monografía sobre las propiedades físicas y empleo de los materiales. El libro IV trata de la construcción de edificios civiles y militares, donde, en 14 capítulos, expone las distintas tipologías de puertas, garitas, almacenes, arsenales y otros edificios que se hacían al interior de las fortificaciones, precedidas por algunas explicaciones acerca de las calidades de la madera y del hierro. El libro V está dedicado a la decoración de los edificios, donde expone la teoría de los órdenes arquitectónicos a través de 12 capítulos, tema que se justifica en el uso que de ellos se hacía en la traza y construcción de las portadas de las fortificaciones, así como en la ampliación del repertorio programático que ponía a los ingenieros militares al frente de edificios con carácter civil. El libro VI y último, comprende la manera de hacer los Devis para la construcción de las fortificaciones y de las construcciones civiles.

4. *Desde que se han buscado en las Matemáticas los medios de perfeccionar las Artes, se han hecho progresos que nadie antes podía esperar ... la opinión de algunos de que es sólo la práctica lo que les puede llevar a su fin, es todavía un obstáculo no menos dificil de vencer; es bien cierto que la*

experiencia contribuye mucho a dar conocimientos nuevos, y que ella suministra permanentemente a las más hábiles personas ideas de reflexión ... Págs. 1-2 (libro I).

[5] *Todo ello es sin duda, porque la mayoría de los hombres no consultan suficientemente la razón; esclavos de los prejuicios, es apenas el uso lo que les determina, y por no hablar de la Arquitectura ... ningún arquitecto ha establecido los principios para hallar el punto de equilibrio entre las fuerzas actuantes y resistentes ... sobre el espesor que ha de dar a los revestimientos de los terraplenes ... a los pies derechos de los arcos o a los pilares de los puentes* ... Pág. 2 (libro I).

[6] *Así, para comenzar a seguir el método según el cual me parece que el arquitecto deba ser tratado ... hemos de enseñar en este libro, una nueva teoría para reglar el espesor de los revestimientos de la mampostería* ...Pág. 4 (libro I).

[7] BELIDOR, Bernard Forest: *Nouveau Course de Mathématique*, París, 1725.

[8] *La primera es que se debe ver el Muro como si estuviese apoyado sobre unos fundamentos inquebrantables ... La segunda, es que se ha de considerar al Muro como compuesto de una sola piedra ... La tercera, es que se puede entender el perfil del Muro como expresión misma de todo el Muro* ... Pág. 12 (libro I).

[9] *Es una cosa demostrada por la experiencia, que las tierras ordinarias, cuando no han sido removidas ni puestas las unas sobre las otras sin ser mezcladas, ni entrelazadas por faginas, ellas por sí mismas adoptan una pendiente o talud que hace con el horizonte un ángulo de 45 grados* ... Pág. 29 (libro I).

[10] Una explicación más detallada se encuentra en BENVENUTO, Edoardo: *La Scienze delle Costruzione e il suo sviluppo storico*, Florencia, Ed. Sansoni, 1981; págs. 305-310.

[11] Explicado con detalle en BENVENUTO, Edoardo: *Op. Cit.*, págs. 326-334.

[12] *No es solamente el hielo quien destruye la Piedra; se cree que la Luna las altera, tal como puede llegar a suceder con las de cierta especie, donde los rayos de la Luna pueden disolver las partes menos compactas: en este caso podemos creer que los rayos son húmedos y que se introducen en los poros de las Piedras* ... Pág. 2 (libro III).

[13] *El tiempo que se emplea para la construcción de la albañilería es también un conocimiento necesario si se quieren tener las condiciones para ejecutar las obras dentro del tiempo prescrito, y responder a las intenciones de la Corte: por ello es necesario saber lo que cada obrero puede hacer cada día*. Pág. 28 (libro III).

[14] Se puede entonces decir que un Devis debe ser entendido como el jefe de obras del Ingeniero ... El Devis es una memoria instructiva de todas las partes de una obra que se quiere construir; él explica el orden y la conducta de los trabajos, las cualidades y los modos de los materiales, y generalmente todo aquello que interviene en la construcción y la perfección de la obra. Pág. 2 (libro VI)

[15] CAMACHO, Rosario: *El manuscrito sobre la gravitación de los arcos contra sus estribos, del arquitecto Antonio Ramos*; Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Colegio Oficial de Arquitectos de Málaga, Málaga, 1992. GUTIÉRREZ, Ramón: *Territorio y fortificación*, Madrid, Ed. Tuero, 1991, afirma que el ingeniero Juan Vergel, quien desarrolló tareas propias de su oficio en La Coruña hacia 1750, habría hecho una traducción completa del tratado de Belidor: *este manuscrito que pensaba imprimirse, pues hasta tenía grabados realizados en cobre, se extravió junto con otros papeles a la muerte del Ingeniero Marqués de Verboom, quien seguramente lo tenía en revisión*. Pág. 119.

[16] Para mayor información acerca de la Real Academia de Matemáticas de Barcelona, consultar CAPEL, Horacio: *De Palas a Minerva. La formación científica y la estructura institucional de los ingenieros militares en el siglo XVIII*, Barcelona, SERBAL-CSIC, 1988.

[17] Según MONTANER, Josep Maria: *Anàlisi del procés de transformació del cos de coneixements arquitectònics a catalunya, en el periode 1714-1859*, Barcelona, Tesis Doctoral, UPC-ETSAB, 1990, se trata de la obra del siglo XVIII que mejor explica el estado del bagaje de conocimientos y las obras realizadas en España por los ingenieros militares a mediados de este siglo ..., pág. 155.

[18] Citado por MONTANER, Josep Maria: *Op. Cit.*, pág. 171

[19] *Ibid.*

[20] SIMONNET, Cyrille: "Du Mythe Algebraique au Modele Artisanal", en AA.VV.: *L'idee constructive en l'Architecture, París*, Ed. Piccard, 1987; págs. 17-23.

* * *